本報告書は、後続の平成 20～21 年度の共同研究「孔内傾斜計データ不良の原因に関する実態調査と計測技術の標準化」と重複しない内容を抜粋したものである。

孔内傾斜計データ不良の原因に関する
実態調査と計測技術の改善・開発
（抜粋版）

平成２０年３月

独立行政法人土木研究所
日 本 工 営 株 式 会 社
坂 田 電 機 株 式 会 社

孔内傾斜計データ不良の原因に関する
実態調査と計測技術の改善・開発

独立行政法人土木研究所　土砂管理研究グループ地すべりチーム	上席研究員	藤澤和範
	研究員	笠井美青
	交流研究員	池田　学
	交流研究員	樋口佳意
日本工営株式会社　首都圏事業部国土保全部	部長	菅沼　健
	部長	新屋浩明
	課長	松永　博
坂田電機株式会社　技術部		佐藤成将
		谷口優介

要　旨

本報告書は、土木研究所と民間 2 社が平成 18 年度から平成 19 年度まで実施した共同研究「孔内傾斜計データ不良の原因に関する実態調査と計測技術の改善・開発」の成果である。

本共同研究では、孔内傾斜計のデータ不良の原因を調べるため、計器、ガイドパイプ、設置方法などに関するヒアリング調査、室内試験、現地調査を実施した。この結果、データ不良を生じる要素として①ガイドパイプの接続部のギャップ、②プローブ内検出素子の特性、③ガイドパイプと孔壁の空隙充填の良否、④地すべり土塊の沈下があり、これらが組合わさってデータ不良となることがわかってきた。本稿では、これらの調査結果について報告する。

キーワード：地すべり　すべり面　地中変位　孔内傾斜計　ガイドパイプ

目　次（抜粋版）

1．はじめに ・・・・・ 1

2．孔内傾斜計の計測機器および設置に関する実態調査

2.1．孔内傾斜計およびガイドパイプに関する調査

2.1.1　測定原理と検出原理 ・・・・・ 4

2.1.2　ガイドパイプの種類と設置方法 ・・・・・ 6

2.2．不良データの発生条件に関する調査

2.2.1　正常データと不良データ ・・・・ 20

2.2.2　充填材等に関する一斉調査 ・・・・ 23

2.2.3　不良データ発生条件に関する調査 ・・・・ 24

3．地すべり土塊の沈下に関する実態調査

3.1．ガイドパイプの浮上り現象

3.1.1　浮き上がり現象に関する実態調査 ・・・・・31

3.1.2　孔内傾斜計の不良データと浮き上がり現象に関する検討 ・・・・・36

4．まとめ ・・・・・39

1. はじめに

地すべり対策を適切に講ずるためには、迅速かつ精度よく地すべりの規模を把握する必要がある。地すべり規模の把握には、主に地形図・空中写真の判読、現地踏査、ボーリング調査、計測機器による変動計測などの結果を総合的に判断して行われる。このうち、すべり面深度を明らかにするすべり面調査には、ボーリング調査によるコア判定のほか、孔内傾斜計、パイプひずみ計、縦型伸縮計などの計測機器による観測などがある。特に孔内傾斜計は、すべり面深度の判定ばかりでなく、すべり面での移動量や移動方向を知ることができるため各地で利用されている。

孔内傾斜計は、ボーリング孔内に埋設したガイドパイプに傾斜計を挿入し、地すべりによって変形したガイドパイプの状態を傾斜角として計測するものである。孔内傾斜計は、ひずみゲージ式のプローブ（ゾンデ）がスウェーデン地盤研究所[1)]で開発されて以来、米国で発展して摺動抵抗（ポテンショメータ）式[2)]、振動弦式[3)]、電位バランス式[4)]、サーボアクセレロメータ式[5)]のプローブが次々と開発され、日本へは大矢[6)]によって米国から導入されたが、国産の傾斜計が独自に発展して土木計測分野で 30 余年の実績を残してきた。しかしながら、地すべり観測における孔内傾斜計の計測データの中には、**図-1-1** のようにすべり面として判定することが難しいものが現在でも多数存在している。また、移動方向が深度毎に異なるデータ[7)]も依然存在する。

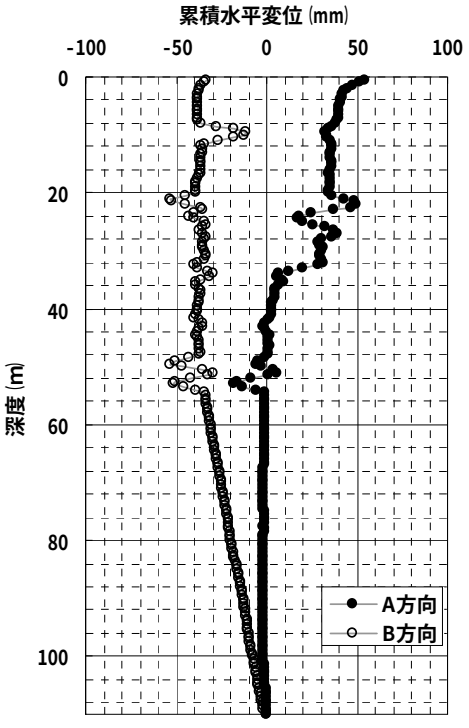


図-1-1　すべり面深度の特定が難しい計測データの例

このようなデータを本報告では“データ不良”と呼ぶことにするが、データ不良を防止する方法やそのようなデータを補正する方法については、これまでもいくつか提案[3),8),9),10),11)]されてきている。

しかし、これらの提案は、個々の現場ごとでの工夫あるいは調査業者などのマニュアルに留まっており、特に国内においては広く一般には反映されていない。一方、データ不良の原因についてはこれらの提案の中でも言及しているが、地すべり現場での調査・計測などで明らかにされたものはほとんどない。

孔内傾斜計によるすべり面判定の信頼性を向上し、地すべり規模を精度よく把握するためには、データ不良が発生する原因や条件を調査し、その解消方法の提案と設置要領等の標準化が必要である。そこで、本研究ではデータ不良の解消方法や標準化に先立ち、地すべり地に設置されている孔内傾斜計の実態を調査し、データ不良を排除するための計測技術の改善方法を提案することとした。

＜参考文献＞

1) Kallstenius, T., and W. Bergau (1961), In Situ Determination of Horizontal Ground Movements, 5th International Conference on SM & FE, Paris, published by Dunod, Paris, Vol. 1, pp. 481-485.
2) Cornforth, D. H. (1974), Performance Characteristics of the Slope Indicator Series 200-B Inclinometer, the Symposium on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, British Geotechnical Society, Butterworths, London, pp. 126-135.
3) Green, G. E. (1974), Principles and Performance of Two Inclinometers for Measureing Horizontal Ground Movements, the Symposium on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, British Geotechnical Society, Butterworths, London, pp. 166-179.
4) Green, G. E. (1974), Horizontal Inclinometers for the Measurement of Vertical Displacement in the Soil Around Experimental Foundation, the Symposium on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, British Geotechnical Society, Butterworths, London, pp. 112-125.
5) Gravina, J., and G. H. Carson (1983), CSIRO Horizontal Borehole Inclinometer-Description and Operation, Goemechanics of Coal Mining Rep. No. 53, CSIRO Division of Applied Geomechanics, Australia.
6) 大矢暁 (1977)：高精度傾斜計の精度と適応性，応用地質，第 18 巻，1・2 号，pp. 13-25.
7) 中村浩之，檜垣大助，吉田克美 (1990)：孔内傾斜計の不良データとその発生防止に関する検討，全国地すべりがけ崩れ対策協議会
8) Willson, S. D., and P. E. Mikkelson (1978), Field Instrumentation in Landslide Analysis and Control, Transportation Research Board, Special Rep. 176. 5.
9) 白石秀一，五十嵐和一，松本俊昭，周亜明 (2001)：地すべり変位観測孔の外周充填方法による測定値の違いについて，第 39 回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp. 171-174.
10) 中川渉，新居見健二，遠藤司，山本寛 (2002)：Q スコープカメラによる孔内傾斜計ガイドパイプ内の変形観察，第 39 回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp. 323-324.

11) ISRM (1981), Suggested Methods for Monitoring Rock Movements Using Inclinometers and Tiltmeters, Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM suggested Methods, Pergamon Press, Oxford, pp. 187-199.

2．孔内傾斜計の計測機器および設置に関する実態調査

2.1. 孔内傾斜計およびガイドパイプに関する調査

2.1.1 測定原理と検出原理

地中の水平変位を測定する際には、孔内傾斜計が使用されてきた。ここでは、孔内傾斜計の測定原理・演算方法および検出方式の種類について述べる。

(1) 測定原理と演算方法

①測定原理

地中あるいは構造物中に埋設された直交方向にガイド溝を有する管（ガイドパイプ）に、回転コロを有した傾斜計用プローブを挿入することで、地中の水平変位が測定できる。地中変位は、ガイドパイプの各深度の傾斜と、測定ピッチから求められる鉛直に対する変位量を、不動点とされる最深部（または孔口部）を基準として累加することで求められる。なお、ガイドパイプの建て込み形状（初期値）は、水平変位を測定する際に初期値からの変化を求めているため、測定精度に影響を与える。そのため、ガイドパイプはできる限り鉛直に建て込むことが望ましい。

②演算方法

地中変位は鉛直を基準とした傾斜角から求めるものであるため、真の鉛直における傾斜計の指示精度が非常に重要な要素となる。このため、測定にあたっては、各深度の正方向と逆方向について測定し、演算によって真の鉛直に対する傾斜を求める手法が用いられる。

今、測定したい方向の読み値をA、逆方向の読み値をBとした場合、測定値は読み値AとBの差の1/2で求められる。同様に、区間変位は測定値と初期値との差で、累積変位は区間変位を不動点から累加することで求められる。（**図-2-1-1-1**：測定値、区間変位、累積変位参照）また、読み値A，Bの和の1/2と読み値A，Bの和の1/2の平均との各深度の差で、測定の信頼性を確認することができる。特に、測定中に回転コロがガイド溝から外れた場合や、測定値のドリフトなどは、明瞭に検出することができる。（**図-2-1-1-1**：固有誤差参照）なお、区間変位を求める際に変換係数を乗じているのは、測定値を、物理量に換算するためである。

$$\text{測 定 値}i=\frac{\text{読み値}Ai-\text{読み値}Bi}{2}$$

$$\text{区間変位}i=(\text{測定値}i-\text{初期値}i)\times \text{変換係数}$$

$$\text{累積変位}i=\sum_{i=n}^{1}(\text{区間変位}i)$$

$$\text{固有誤差}i=\frac{\text{読み値}Ai+\text{読み値}Bi}{2}-\frac{\sum_{i=n}^{1}\frac{(\text{読み値}Ai+\text{読み値}Bi)}{2}}{n}$$

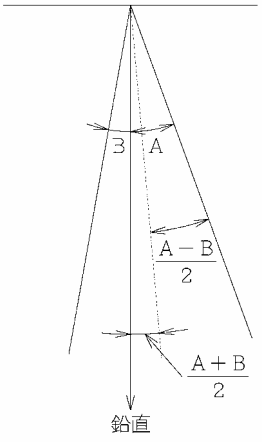


図-2-1-1-1　孔内傾斜計測定値の算出原理

(2) 検出方式の種類と特徴

孔内傾斜計の検出方式には、多くの種類があるが、国内シェアの大きい下記の３方式について、説明する。

①サーボアクセロメータ方式

傾斜計本体に固定された位置センサで、中心軸からの振り子のズレを検出する。振り子に取り付けたコイルに、振り子のズレの大きさに応じた電流を与えることで、振り子を初期の位置に戻す構造である。この電流の大きさが、振り子の傾斜に比例しているため、水平変位が分かる。

特　徴：　一つのセンサで測定できる範囲が広い。

②ひずみゲージ方式

金属線に張力を加えて変形させると、金属固有の電気抵抗が変化する。この金属線の伸・縮と、電気抵抗変化は比例している。この特性を利用したものが、ひずみゲージである。振り子を支持しているバネに、ひずみゲージを接着することで、バネに生じるひずみを測定する構造である。このひずみの変化が、傾斜によるバネの変形に比例しているため、水平変位が分かる。

特　徴：　センサを小型化できる。

③差動トランス方式

差動トランスは、コイルと鉄芯によって構成される。コイルには、一次コイルと二次コイルがあり、一次コイルに交流電流を流すと、二次コイルに誘起電圧が生じる。鉄芯が移動すると、それに比例して二次コイルの誘起電圧も変化する。この特性を利用し、振り子をバネで支持することで、振り子に固定された鉄芯が、傾斜計本体に固定されたコイル内を移動する構造である。二次コイルの誘起電圧の変化が、傾斜によるバネの変形に比例しており、水平変位が分かる。

特　徴：　変換効率が高く、出力電圧が大きいため、ノイズの影響を受けにくい。

2.1.2 ガイドパイプの種類と設置方法

(1)　ガイドパイプの種類・規格

孔内傾斜計観測用ガイドパイプ(以下「ガイドパイプ」と称す)は、様々な種類が販売されている。このガイドパイプには、公的機関等で定められた規格がある訳ではなく、「ガイドパイプ」という呼称も様々であり、むしろ孔内傾斜計測定用アルミケーシングなどと言う場合が多いようである。各メーカーが独自の判断基準に基づき製作しているが、実際は国内に初めて紹介された孔内傾斜計(SINCO 社)を参考に製作された形状に近いのが一般的である。特に、調査ボーリングの主流であるφ66 ㎜の掘削孔に挿入可能なガイドパイプは、外接円約 50 ㎜、溝部突起を除く円筒部の外径約 47 ㎜に近似した形状が一般的であり、最も多く採用されている。この形状のガイドパイプは、国内に孔内傾斜計を紹介し、普及に努めた会社名を付して「OYO タイプ」と言う場合もある。本報告では、国内における使用の頻度等を考慮して、あえて「標準タイプ」と呼ぶことにした。

ガイドパイプの形状をメーカー側の事情から分類すると二つに区分することができる。計測機器メーカーでは自社製品をボーリング孔内に挿入・設置する目的で形状設計がなされているのに対し、それ以外のメーカーは、需要の多い「標準タイプ」に近似した形状の製品を製造している。これは、手動観測に使用する孔内傾斜計本体の形状とも深く関係している。現在国内で使用されている挿入式孔内傾斜計が数社の製品に限定されため、その形状(特に車輪の形状)にあったガイドパイプを製造する方が有利であるためである。

ガイドパイプの材質は、アルミニウム合金・塩化ビニル(塩ビ管)・ABS 樹脂およびステンレスなどがあるが、日本国内での主流はアルミニウムである。他の材質は、設置箇所の環境に応じて使用できるよう製造・販売されているが、もっとも採用頻度の高い「標準タイプ」はほとんどがアルミニウム製であり、それは、このガイドパイプを一般的に「アルミ管」・「アルミガイドパイプ」や「アルミガイドパイプ」と呼ぶことからも伺える。ステンレス製の標準タイプも販売されているが、腐食の問題などがある特殊な場合に採用されているようである。表面処理に関しては、基本的にアルマイト加工が施され、メーカーによってはその上からポリエステルウレタン系塗装や電着焼付塗装を行っているものもある。また、表面保護用としてビニル熱収縮チューブを被せた製品もある。ガイドパイプの定尺は各メーカーとも 3mであるが、これは作業上の観点からボーリングのロッドの長さと同じにしてあるものと思われる。**表-2-1-2-1** に国内で入手可能なガイドパイプの一覧表を示した。今回、この全てを収集することが出来た(**図-2-1-2-1**)。

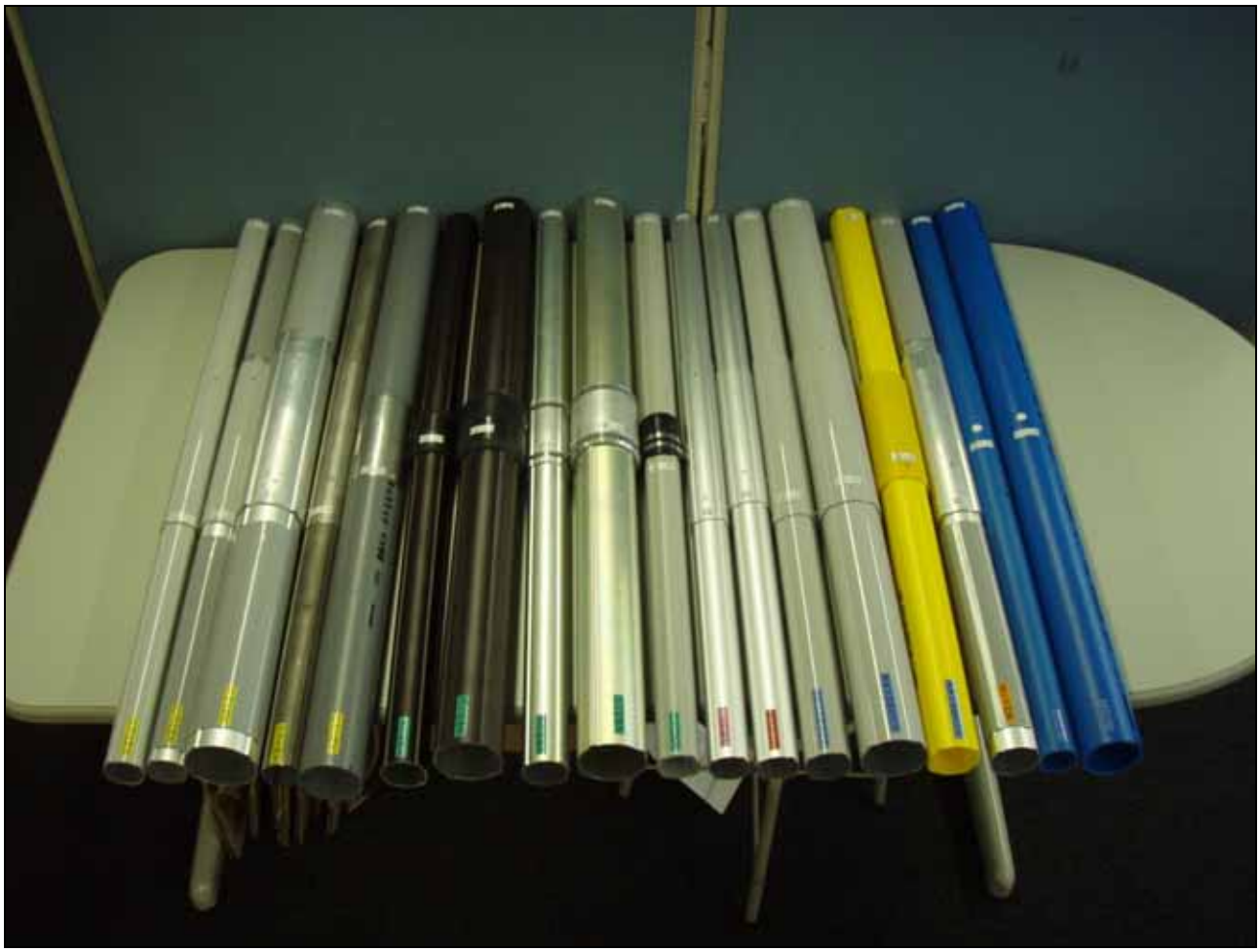
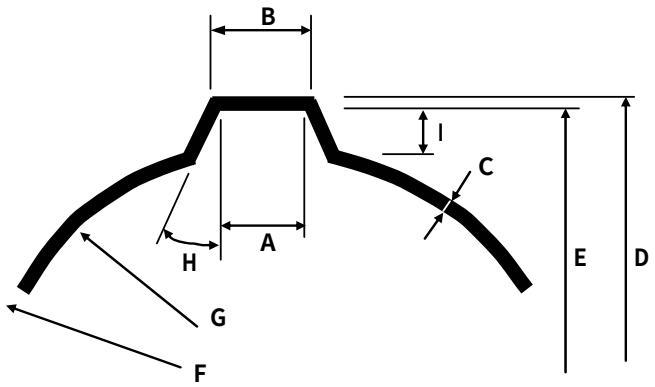


図-2-1-2-1　収集したガイドパイプ(全 18 種類/詳細は表-2-1-2-1)

表-2-1-2-1　収集したガイドパイプ一覧表

№	メーカー	製品名	備考
①-1	応用地質㈱	塗装ケーシング(φ47)	標準タイプ
①-2		アルミケーシング(φ47)	標準タイプ
①-3		アルミケーシング(φ80)	
①-4		ステンレスケーシング(φ47)	標準タイプ
①-5		NQ パイプ(φ70)	
②-1	坂田電機㈱	測定管(φ52)	
②-2		測定管(φ76)	
②-3		測定管/アルミ継手(φ52)	
②-4		測定管/アルミ継手(φ76)	
②-5		測定管(樹脂製)	
③	川崎興業㈱	傾斜計用アルミケーシング	標準タイプ
④	㈱測商技研	孔内傾斜計用アルミガイドパイプ	標準タイプ
⑤-1	㈱東京測器研究所	アルミガイドパイプ(φ49)	
⑤-2		アルミガイドパイプ(φ69)	
⑤-3		ABS 樹脂ガイドパイプ	
⑥	㈱共和電業	アルミガイドパイプ	
⑦-1	SINCO 社(米国)	標準ケーシング(φ48)	輸入元　五大開発㈱
⑦-2		QC ケーシング(φ70)	同上



【各部位の名称】

A：溝部内側の幅 (㎜)

B：溝部外側の幅 (㎜)

C：肉厚 (㎜)

D：外接円直径 (㎜)

E：溝部の内径 (㎜)

F：パイプ本体の外径 (㎜)

G：パイプ本体の内径 (㎜)

H：溝部の開き(°)

I：溝の深さ(㎜)

但し、I＝(E-G)/2 で算出

図-2-1-2-2 ガイドパイプの各部名称と寸法

使用頻度等から、標準タイプの代表的な 3 種類について形状の各諸元を比較してみる。各部位の名称は、メーカーによって様々なので、本報告書では形状を現す名称とした。

図-2-1-2-3　標準タイプ(3 種類/番号は表-2-1-2-1 に同じ)

表-2-1-2-2　標準タイプのガイドパイプ緒元一覧表

メーカー		応用地質㈱	川崎興業㈱	㈱測商技研
№		①-1	③	④
名称		アルミケーシング(φ47)	傾斜計用 アルミケーシング	孔内傾斜計用 アルミガイドパイプ
概観				
各部の寸法	A	3 ㎜	3 ㎜	3 ㎜
	B	7 ㎜	5.6 ㎜	記載なし
	C	1.5 ㎜	1.5 ㎜	2 ㎜
	D	50.5 ㎜	50.25±0.25 ㎜	52.9±0.15 ㎜
	E	47.5 ㎜	47.25±0.25 ㎜	48.9±0.15 ㎜
	F	46.5 ㎜	46.15±0.25 ㎜	47.9±0.15 ㎜
	G	43.5 ㎜	43.15±0.25 ㎜	44±0.15 ㎜
	H	24 °	30 °	30 °
	I	2 ㎜	2 ㎜	2.45 ㎜
定尺		3,000 ㎜	3,000 ㎜	3,000 ㎜
ソケット		外接円直径(D)＝54.2 ㎜	外接円直径(D)＝53.5 ㎜	外接円直径(D)＝57.3 ㎜
		L＝300 ㎜	L＝300 ㎜	L＝250 ㎜
【注】本表は、各メーカーから提供頂いた仕様書等に基づき作成したものであるが、企業秘密の部分もあり、これ以上の詳細なデータの公表は差し控えてある。				

標準タイプの 3 種類を比較すると、最も重要な溝内側の幅(A)は全て 3 ㎜であるが、溝の開き(H)と深さ（Ｉ）が微妙に異なることが判る。応用地質㈱製を基準として比較すると、川崎興業㈱製は開き角度が大きく、測商技研㈱製は開き角度も大きく、深さも深い結果となった。特に、溝の開き角度に関しては、一般論として、狭い方が挿入式傾斜計の車輪のブレが少ないと思われるが、その反面、余裕がないため、ガイドパイプの微妙な変形でも孔内傾斜計本体の挿入が困難になることも想像される。それは深さに関しても同様であり、深い方が車輪のブレは少ないと思われるが、いずれにしても、これらの形状の差による観測結果の差異に関する試験データがある訳ではない。従って、標準タイプの 3 種類を比較した場合に、観測結果を左右するような大きな差異はないとものと思われる。

一方、各メーカーの特徴が最も現れているのは、継手部分の形状と機構である。主流はガイドパイプが嵌合する一回り大きなガイドパイプ(「ソケット」と称す)をリベットで固定する方法であり、「標準タイプ」の継手部分はすべてこのタイプである。標準タイプのガイドパイプ用ソケットの形状は、**表-2-1-2-2** に示してある。ソケットを使用して定尺のガイドパイプを繋ぐ作業は必ず発生する

作業であり、リベットの打ち損じやシールの不具合等のリスクを最小限にするため、メーカーによっては、リベット穴を事前に穿孔し、さらにソケットの片方を工場で固定・シールした形状で販売している。**図-2-1-2-4** に標準タイプのソケット形状を示した。なお、標準タイプ以外にも色々なソケットが考案されているので、参考まで、**図-2-1-2-5** に示した。

ガイドパイプとソケット(左側)

ソケットの接合状況

嵌合の状況

図-2-1-2-4　標準タイプのソケット形状と接合状況

坂田電機㈱-1

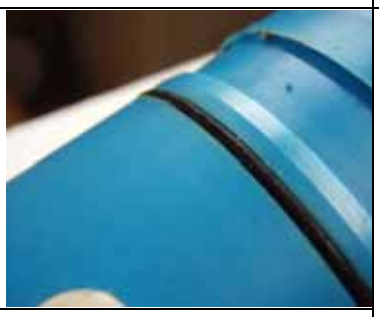
坂田電機㈱-2

坂田電機㈱-3

応用地質㈱

㈱東京測器研究所

SINCO 社(標準ケーシング)



SINCO 社(QC ケーシング)

図-2-1-2-5　標準タイプ以外のソケット形状

【図-2-1-2-5 に対する補足説明】

① 標準タイプを製造している、応用地質㈱・川崎興業㈱および㈱測商技研の 3 社の製品は、全て同じタイプであり、ガイドパイプと嵌合する一回り大きなガイドパイプ(「ソケット」と称す)をリベットで固定する方法である。

② 継手の形状では、坂田電機㈱が最も多くの種類を製造・販売している。計測現場の多様化に対応した結果と思われる。基本的構造は、樹脂製やアルミ製の大型なソケットを使用して、ガイドパイプを差込む形状となっている。従って、ガイドパイプの最終的な外径が標準タイプよりも太くなるため、採用に際しては削孔径に十分留意する必要がある。

③ 応用地質㈱は、海水などに対して耐久性の高い塩ビ製の NQ パイプと呼ばれる製品を販売しているが、同品には特殊なソケットが準備されている。

④ ㈱東京測器研究所は、腐食等への耐久性の高い ABS 樹脂製の製品には、特殊なソケットを準備しており、接合後のタッピングビスで固定する方式を採用している。なお、同社の他のガイドパイ

プは標準タイプと同様のソケットの構造である。

⑤ 米国 SINCO 社(Slope Indicator Company)の製品は、国内で入手することが可能であるが、その接合方法は独特である相互はめ込み式を採用しているため、時間のロスと組立ミスを防ぐことが可能だとしている。標準ケーシングは、キーホール特に QC(クイック・コネクト)ケーシングは、O リングを具備したカップリングシステムであり、接着剤やリベットなどを使用せずに、強靭で段差のない接続が可能だとしている。

(2)　一般的な設置方法

孔内傾斜計の観測孔は、かつてはφ66 ㎜のボーリング孔にガイドパイプを挿入していた時期がある。実際にφ66 ㎜のコアチューブで掘削する場合に使用するケーシングチューブはφ86～90 ㎜であり、一般的なガイドパイプ(外径約 50 ㎜)に対しては、大きな穴が開いていることになる。しかし、孔内傾斜計での測定方法が普及するにつれて、測定値に時々見られる揺らぎなどが問題となり、設置方法の検討が行われた結果、ガイドパイプと孔壁との隙間にモルタル等をしっかり充填すると良い観測結果を得られることが多いことから、最近は、ガイドパイプの地山との固定をしっかり行うため、φ86 ㎜での掘削が主流となっている。φ86 ㎜のコアチューブで掘削する場合に使用するケーシングは、φ97 ㎜以上であることから、実際は直径 100 ㎜以上の孔に直径 50 ㎜のガイドパイプが挿入されていることになる。

別途実施したアンケート調査では、充填材として砂や砂利などの使用例も見られたが、その多くは、孔内傾斜計観測孔で地下水位も測定しようと計画している場合に多いようであり、その様な場合には、ガイドパイプにストレーナ加工してフィルターを巻いた製品が使用されている。しかし、最近は、孔内傾斜計の安定したデータを得るため、ほとんどの場合、地下水観測孔と別に孔内傾斜計観測孔を削孔し、モルタル等にて隙間を充填することで確実な固定をするようになっている。

次にガイドパイプの一般的な接続方法について示す。ガイドパイプは、上述したように、各メーカーとも定尺は 3mであることから、当然、何本ものガイドパイプを繋ぐ必要がある。接続作業は、地中に埋設した後に、周辺のグラウト材や地下水等がガイドパイプ内に流入(浸入)することを防止するため、慎重な作業を要求される。各メーカーによって、推奨する接続方法に若干の差があるが、通常は以下に示す 6 つの工程(**図-2-1-2-7**)に分けることができる。接続に使用する材料も様々な製品が提供されているが、基本は以下の 4 種類である。

① ソケットとガイドパイプを直接接続するためのアルミリベット(ステンレス製ガイドパイプには SUS リベット)
② ソケットとガイドパイプ本体の隙間に充填するシーリング剤
③ シーリング剤注入後、さらに水密性を向上させるための自己融着テープ
④ シーリング後の最終的な保護を行うためのビニルテープ

図-2-1-2-6 に代表的な接続材料を示すが、基本的には各メーカーから購入した時に付属してくる材料を用いて接続するのが望ましいと思われる。

アルミリベットと打設工具	リベット打設後の状態	シーリング剤(接着剤系)
ブチルゴムテープ	自己融着テープ	ビニルテープ

図-2-1-2-6　代表的な接続材料(例)

図-2-1-2-7 に標準的な接合方法の手順を示す。特に重要な点は③のリベット打設と④～⑤のシーリングであろう。リベット打設は、専用工具を使用し、ガイドパイプの面に直角に打設することがポイントであり、失敗した時には内側に突起が出きるので再打設する必要がある。また、リベットの打設順は、回転せずに十字方向（対向して打設）が理想的である。④のシーリング剤の注入では、ガイドパイプ本体とソケットの隙間にしっかり充填することが重要である。

工程	写真	作業内容	備考
①		最深部のガイドパイプの先端にボトムキャップを差込み、シーリング材を注入するとともに、自己融着テープおよびビニルテープで固定する。最深部でガイドパイプ内に注入する清水の圧力が集中する点なので慎重な作業が求められる。	メーカーにより形状が異なるので、ガイドパイプと同じメーカーの製品を使用すること。
②		順番に次のガイドパイプを準備し、ソケットに差込む。メーカーによっては、予めソケットをガイドパイプ片端に接続した状態で出荷している。この様な製品は、現場での接続･シール作業のリスクを半減できる。	接合部には特に注意が必要で、打撃等で変形したり土などが付いたりしないように十分注意する必要がある。
③		4 箇所の穴にアルミリベットを差込み、専用工具にて引き止める。リベット用の穴を予め穿孔しているメーカーもあり、ソケット同様に現地での作業が半減できる。予め穿孔されていない場合にはハンドドリルで穿孔する必要がある。	アルミ製のガイドパイプにはアルミ製のリベットを用いること。他の材質では腐食する可能性がある。リベットの打設順は、回転せずに十字方向（対向して打設）が理想的である。打ち損じた場合には、ヤスリ等で除去して再度打設する必要がある。
④		ソケット上部の隙間にシール材を注入する。シール材には写真のような接着剤系のものとシーラントテールなどもある。ガイドパイプに最も密着する部分であり、隙間にしっかり充填することが重要である。	接着剤系とテープ系では、作業方法や効率も異なるが、一般論として接着剤径の方が隙間に充填しやすいと思われる。
⑤		自己融着テープを巻いて隙間を更に保護する。自己融着テープの特性が十分発揮できるように、ある程度引伸ばした状態で巻きつける。	自己癒着テープ以外にブチルゴムテープの使用を推奨しているメーカーもある。自己融着テープは比較的入手しやすいが、ブチルゴムテープは特殊な製品である。
⑥		最後に防食テープ(ビニルテープ)を巻いて完成する。	巻厚が厚くならないように注意する必要がある。

図-2-1-2-7　ガイドパイプの接続工程(例)

次に、ガイドパイプをボーリング孔へ建込む手順について述べる。前述したように、建込み時の充填剤には最近は特殊な事情がない限り「セメントミルクに若干の混入剤を加えた物」を用いる場合が多い。**図-2-1-2-8** に設置方法の概念図として以下の 4 通りの施工方法を示した。

① ボーリング孔に最初にグラウト材を投入しておき、後からガイドパイプを挿入する方法
② ボーリング孔に最初にガイドパイプを建込み、孔口からグラウト材を注入する方法
③ ボーリング孔に最初にガイドパイプとグラウトホースを建込み、グラウトホースとグラウトポンプ(手押し)を使用して孔底からグラウトを打上げていく方法
④ ボーリング孔に最初にガイドパイプとグラウトホースを一緒にして布パッカーに入れた状態で建込み、グラウトホースとグラウトポンプ(手押し)を使用して孔底からグラウトを打上げていく方法

図中でも記載しているように、孔壁に存在する亀裂からグラウト材が流出するなどの事態に有効なことから、最近では施工方法④の布パッカーを使用する事例が増えており、今後は標準的な施工方法になると考えられる。なお、図中にはケーシングパイプの抜管作業は表示していないが、順序よく作業を実施して、布パッカーやガイドパイプ本体に傷を付けないよう細心の注意を払う必要がある。

次に、ガイドパイプ建込み時に発生する浮き上がり現象への対処方法であるが、上からガイドパイプを押えることは厳禁である。ガイドパイプ全体が歪む恐れがある。浮き上がりとのバランスを取るようにガイドパイプ内に清水を注入する方法が一般的であるが、理想的には孔底から数mの最深部を一旦打設・固定し、ダウンフォースを確保してから、順次上へ打上がる方法が理想的である。

なお、地山との間隙を充填するグラウトの配合に関しては、応用地質㈱および SINCO 社の資料に、その配合比率が掲載されているので引用することとするが、この比率はあくまでも目安であり、現地の状況に応じた臨機応変な対応が求められる。

表-2-1-2-3　グラウト材混合比

№	混合比(重量比)				1 軸圧縮強さ (N/mm^2)	変形係数 (N/mm^2)	対象地盤
	普通ポルトランドセメント	混入材	水	混入剤			
1	1	木節粘土(1)	1.5	0.15	5.53	1,250	岩盤
2	1	木節粘土(2)	2.2	0.15	2.44	900	
3	1	木節粘土(3)	4.1	0.15	0.71	200	土砂
4	1	木節粘土(8)	8.3	0.15	0.24	48	軟弱

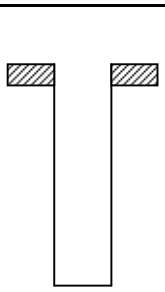
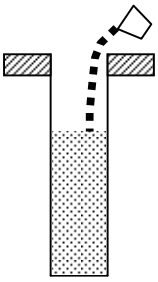
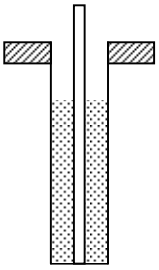
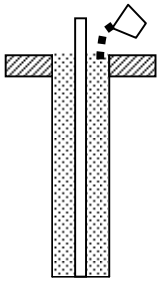
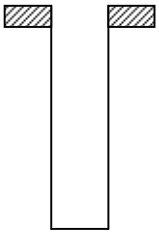
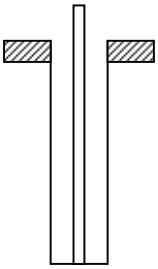
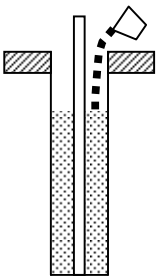
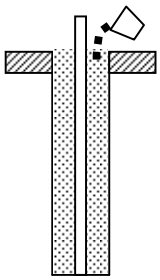
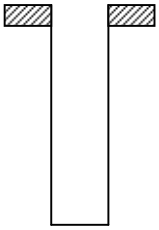
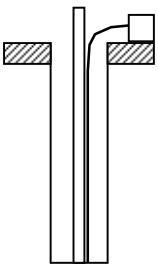
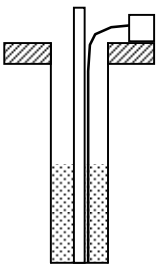
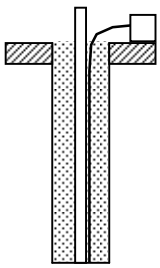
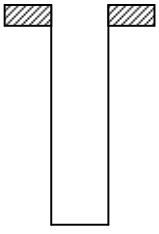
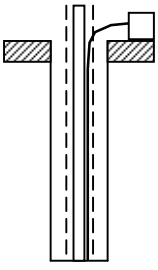
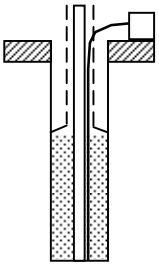
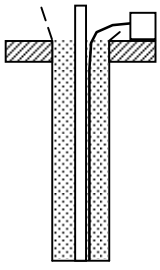
〔注〕混入剤は、膨張剤として使用し、デンカ CSA＃20 を標準とする
1 軸圧縮強さは 28 日強度

応用地質㈱「ケーシングパイプの取扱説明書」から引用

表-2-1-2-4　グラウト配合比

土質区分	ベントナイトーセメント配合比(重量比)			圧縮強度 (28 日強度)
	ポルトランドセメント	ベントナイト	水	
中～硬質土	40 kg(1.0)	12 kg(0.3)	100 kg(2.5)	100psi＝7.03kgf/cm^2
軟質土	40 kg(1.0)	16 kg(0.4)	264 kg(6.6)	4psi ＝0.28kgf/cm^2

Slope Indicator Company「QC 傾斜センサ･ケーシング設置ガイド」より引用

	施工手順				留意点
	STEP-1	STEP-2	STEP-3	STEP-4	
施工方法①	 削孔完了	 グラウト材の投入	 ガイドパイプの建込み	 グラウト材の追加投入	浅い孔にて実施することは可能だが、ガイドパイプの浮上がり等の問題もあり、最近はほとんど採用されない施工方法である。
施工方法②	 削孔完了	 ガイドパイプの建込み	 グラウト材の投入	 グラウト材の追加投入	過去に良く採用されていた施工方法であるが、深い孔では施工不良などが発生したり、浮上がり等の問題もあり、最近ではほとんど採用されない施工方法である。
施工方法③	 削孔完了	 ガイドパイプおよびグラウトホースの建込み	 グラウトポンプ(手動)を使用したグラウト材の打設	 グラウト材の追加打設	今まで、最も多く採用されている施工方法である。浮上がりに対しては、最初に最下部を打設してダウンフォースを確保することで解決することも可能である。
施工方法④	 削孔完了	 ガイドパイプ･布パッカーおよびグラウトホースの建込み	 グラウトポンプ(手動)を使用したグラウト材の打設	 グラウト材の追加打設	最近採用する事例が増えている施工方法である。孔壁の亀裂などからグラウト材が逸水することもなく、確実に地山とガイドパイプの隙間をグラウト材で充填することが可能であり、現時点では最も優れている施工方法である。

[注] 図中では、ケーシングパイプの抜管作業は省略している

図-2-1-2-8　施工方法の概念図

2.2　不良データの発生条件に関する調査

2.2.1　正常データと不良データ

(1) 正常データ

動きのある地すべり地に設置された孔内傾斜計の正常データでは、ある一定の深度と方向に水平変位が現れることで、すべり面を推定することが出来る。正常データの例を**図-2-2-1-1** に示す。

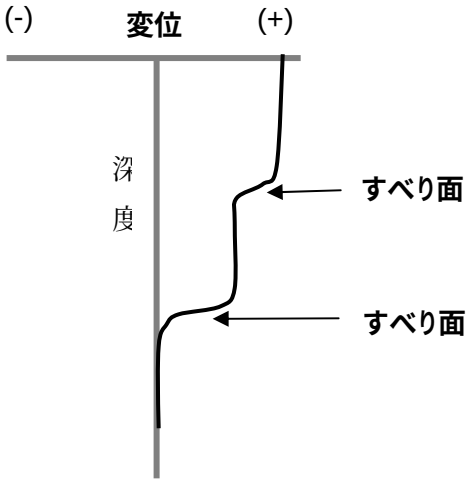


図-2-2-1-1　正常データ例

(2) 不良データ

不良データは、ある一定の深度と方向に水平変位が現れず、すべり面の推定が困難なデータを指す。本報告書では、孔内傾斜計の不良データのタイプを、「S 字」「転倒」「方位」に分類する。これらの不良データは、単独ではなく複合して現れる場合もある。

① S 字

図-2-2-1-2 に示すように、地すべりの移動方向と異なる方向に水平変位が現れ、深度別の変状グラフには S 字状の変位の深度分布が示される。

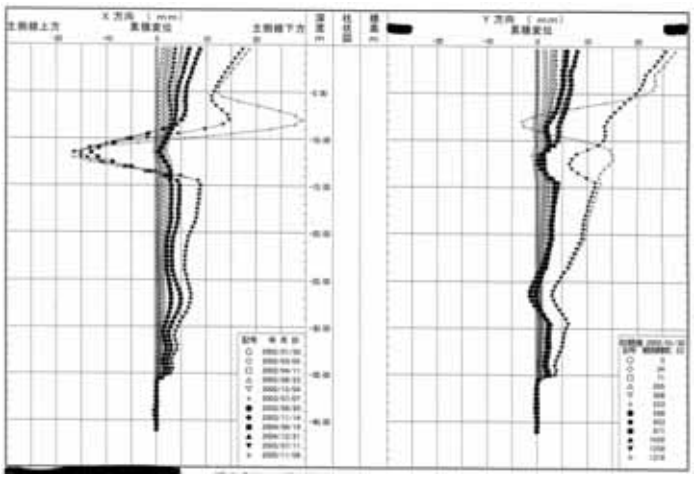


図 2-2-1-2　「S 字」不良データ例

② 転倒

図 2-2-1-3 に示すように、変状グラフにおける変位の深度分布が、経時的に転倒する。

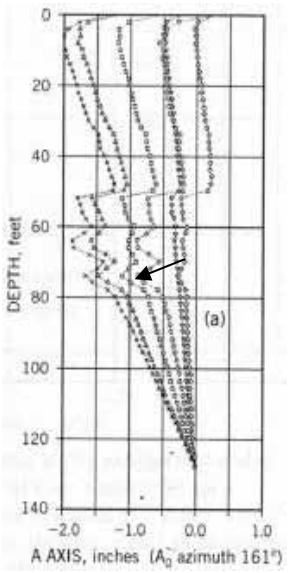


図-2-2-1-3　「転倒」不良データ例

③ 方位

図-2-2-1-4 に示すように、変位の方向が深度によって大きく異なる。

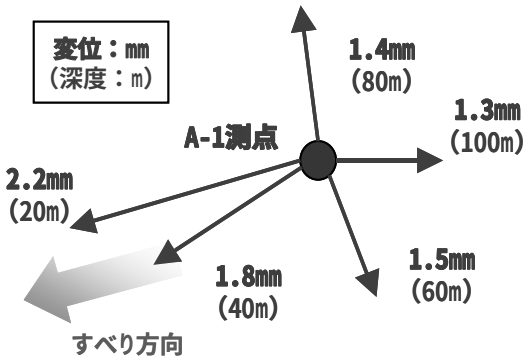


図-2-2-1-4 「方位」不良データ例

2.2.2. 充填材等に関する一斉調査

孔内傾斜計データに上述の不良データが現れるのは、孔内傾斜計設置時にガイドパイプが十分に固定されていないことも理由として考えられる。そこで充填材の使用状況を把握するために、国交省地方整備局及び都道府県を対象にアンケートを行った。アンケートの質問は

1．特記仕様書においてガイドパイプの充填材について指定しているか
2．充填材には何が使われていることが多いか

の 2 点である。

アンケートには全国の計 104 の地すべりを担当している 74 事務所から回答があった。集計結果を**表-2-2-2-1** に示す。

表-2-2-2-1　アンケート結果

質問	回答の選択肢	割合
特記仕様書での ガイドパイプ充填材の指定状況	指定している	8%
	指定していない	92%
孔内傾斜計設置に主に使用される 充填材	砂	44%
	砂とグラウト 併用	3%
	グラウト	53%

質問 1 と 2 の回答の内容に地方差は見られなかった。質問 2 については、孔内傾斜計設置にはグラウトを使用するが、パイプ歪計設置の場合には砂を用いる箇所が 6 箇所あった。またジオテキの実施状況についても尋ねたところ、7 事務所のみで実績があるとの回答を得た。

2.2.3. 不良データ発生条件に関する調査

(1) 不良データの地方別内訳

前項のアンケート及び現場指導データを通じ、423 孔の不良データを得た。不良データの種類の内訳数を、**表-2-2-3-1** に示す。また不良データの地方別の内訳数、及び割合は**表-2-2-3-2** 及び**図-2-2-3-1** に示す通りである。

表-2-2-3-1 収集した不良データの種類別内訳数

不良データの種類	内訳数
S 字	131
転倒	103
S 字と転倒	72
方位	73
S 字と方位	44

表-2-2-3-2 収集した不良データの地方別内訳数

地方	内訳数
北海道	8
東北	5
関東	71
北陸	33
中部	25
近畿	23
中国	12
四国	226
九州	20
全国	423

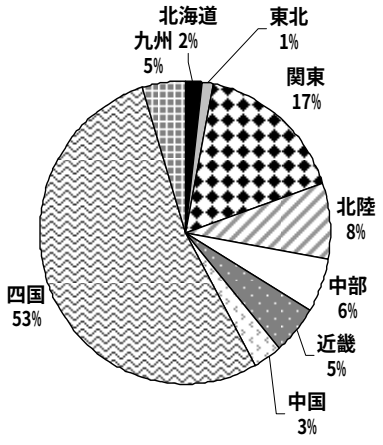
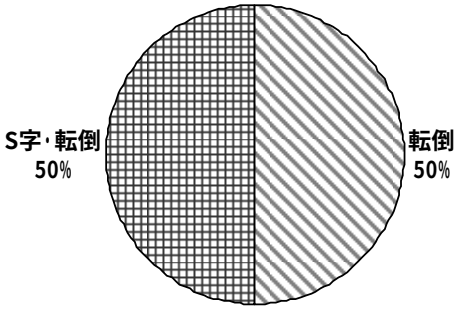


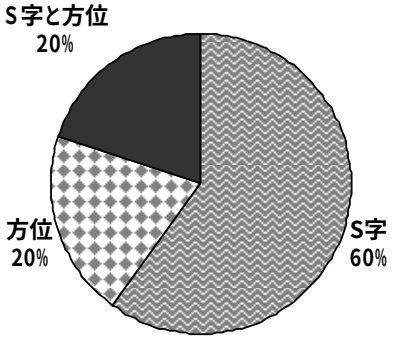
図-2-2-3-1　収集した不良データの地方別割合

不良データの種類について、内訳割合を地方別に**図-2-2-3-2** に示す。全地方を通じて、S 字型は不良データの 50 %以上を占めた。また東北地方を除く全地方では、転倒型は不良データの 30 %以上であった。特に北海道では、全 8 孔のデータで転倒が見られた。不良データに方位型が占める割合は、0 %（北海道と九州地方） から 40 %（東北地方）とばらつきがあった。しかしここで東北・北海道地方ともデータ数が少ない事を留意すべきである。

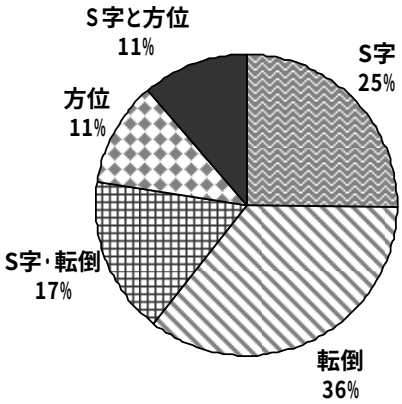
北海道



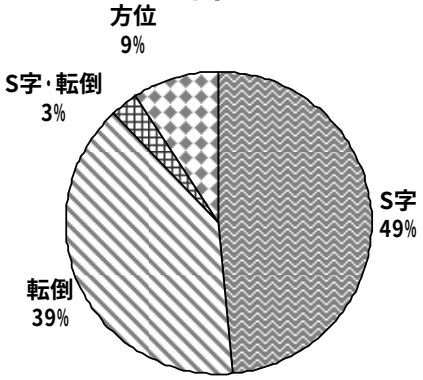
東北



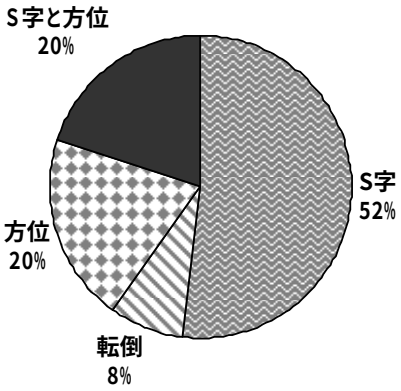
関東



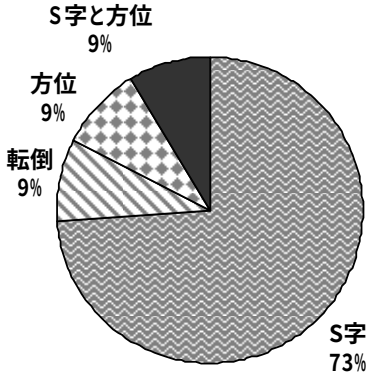
北陸



中部



近畿



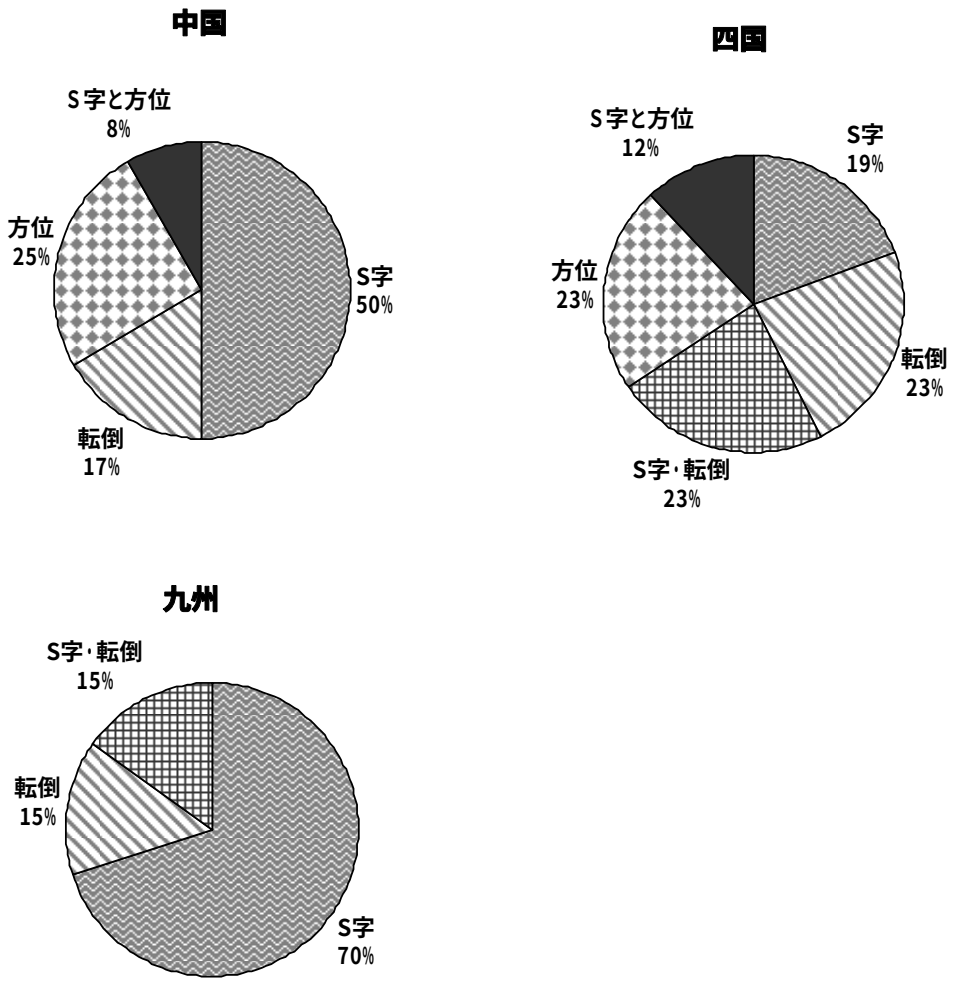


図-2-2-3-2　各地方における、不良データの種類別割合

(2) 充填材と不良データの関係

前項と同じデータにおいて、各種類の不良データの出現割合を充填材別に見た結果を**図-2-2-3-3** に示す。図からは、充填材がグラウトの場合は S 字型、砂や砂利の場合では転倒型が、やや現れやすいことが分かった。方位型の不良データについては、充填材がどちらの場合でも約 10 %発生している。

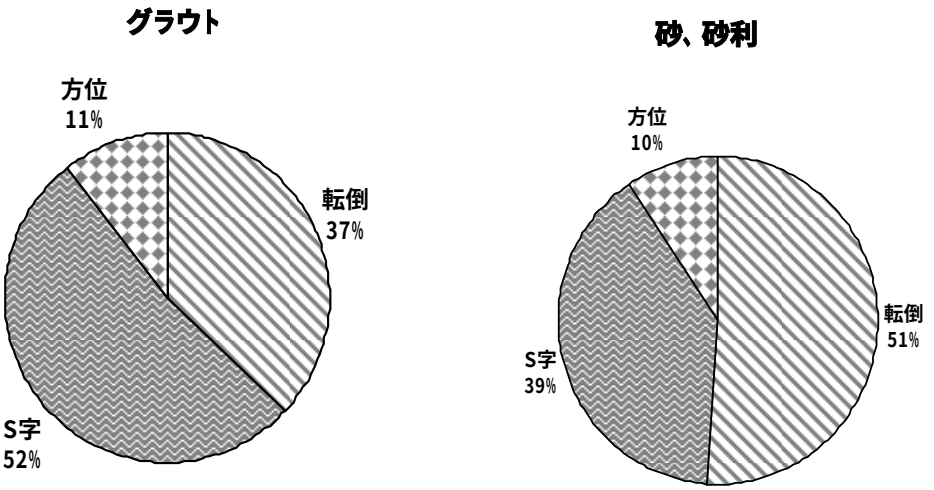


図-2-2-3-3　充填材の違いによる不良データの出現割合

(3) ジオテキと不良データの関係

同じ地すべり地でジオテキを施している孔と施していない孔のある静岡県と愛媛県のデータを用い、ジオテキの有無による不良データの出現割合を調べた結果を**表-2-2-3-3** に示す。ジオテキが施されていない孔では、計 16.5 %に不良データが見られた。不良データにおける S 字及び転倒型の割合はほぼ同じであった。一方ジオテキが施された孔では、2.3 %の孔のみに S 字型のデータ不良が見られた。この結果から、ジオテキが不良データ発生防止に有効であることが示唆された。またこれらの不良データが見られた孔については、後に述べる「浮き上がり」は発生していなかった。

表-2-2-3-3　ジオテキの有無による不良データの出現割合

	ジオテキ無し（103 孔）			ジオテキ有り（132 孔）		
	S 字	転倒	計	S 字	転倒	計
不良データ孔数	8	9	17	3	0	3
不良データ割合	7.8%	8.7%	16.5%	2.3%	0.0%	2.3%
不良データ孔の充填材	グラウト 14 孔、砂 3 孔			すべてグラウト		

3．地すべり土塊の沈下に関する実態調査

3.1.　ガイドパイプの浮き上がり現象

3.1.1　浮き上がり現象に関する実態調査

地すべり現場では、しばしば**写真-3-1-1-1～2** に示すように、ボーリング観測孔の孔口が地表から相対的に浮き上がった現象が見られる。本共同研究では、国土交通省所管の地すべり防止区域を対象に、孔内傾斜計およびパイプ歪計の浮き上がりに関するアンケート調査を実施した。その結果、8 県 10 地区、合計 29 孔において浮き上がり現象が発生しているという回答が得られた。

写真-3-1-1-1　孔内傾斜計ガイドパイプの浮き上がり例（富山県胡桃地区）

写真-3-1-1-2　孔内傾斜計ガイドパイプの浮き上がり例（静岡県滝沢地区）

アンケート結果を**表-3-1-1-1** に整理する。

表-3-1-1-1 では、計測器（孔内傾斜計またはパイプ歪計）および充填方法別に浮き上がりが生じた事例を整理した。孔内傾斜計の浮き上がりに関しては、不良データの有無およびその形態についても整理を行った。

表-3-1-1-1　浮き上がり現象と充填材および不良データとの関係

計測器 ＼ 充填材	孔内傾斜計（データ不良の形態）						パイプ歪計	合計
	転倒	S 字転倒	S 字	S 字方位	方位	なし		
グラウト	2	1	3	1	1	6	0	14
砂･砂利	0	0	6	0	0	4	5	15
計	2	1	9	1	1	10	5	29
合計	24						5	29

(1)　浮き上がりと充填材の関係

図-3-1-1-1 に示すように、セメントミルク等によるグラウトでは 14 孔、砂・砂利を用いた孔では 15 孔で浮き上がりが発生しており、ほぼ半々であった。

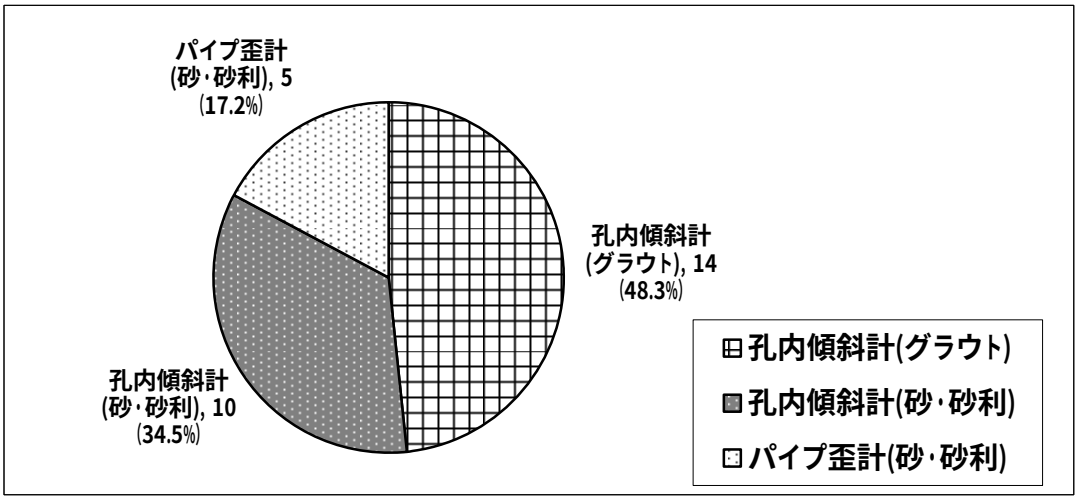


図-3-1-1-1　浮き上がりと充填材の関係

(2)　浮き上がりと孔内傾斜計不良データとの関係

孔内傾斜計で浮き上がりが発生した 24 孔を対象に、S 字や転倒等の不良データ発生の有無について整理を行った**（図-3-1-1-2）**。

浮き上がりが生じた 24 孔のうち、不良データと判断されたものは 14 孔であり、うち 11 孔でグラフが S 字状となっている。また、不良データと判断されない観測孔は 10 孔あり、41.7%を占める。このことから、浮き上がりが発生した観測孔は必ずしも不良データとなっていないことが明らかとなった。

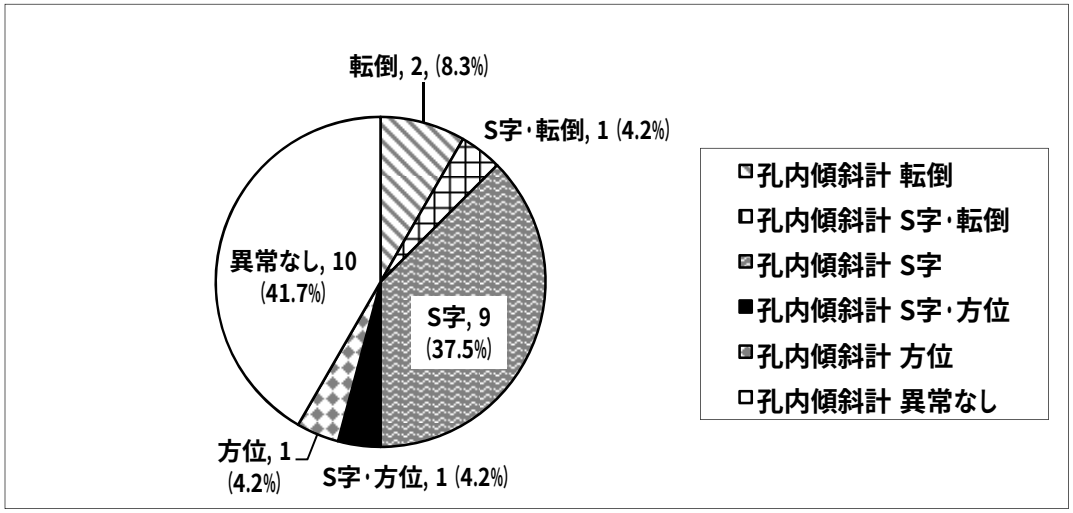


図-3-1-1-2　浮き上がり現象とグラフ異常の関係（孔内傾斜計）

不良データの形態について**図-3-1-1-3** に示す。浮き上がり現象および不良データが両方生じている 14 孔のうち、S 字状の形態を示すものは 11 孔にのぼり（複数の不良データの形態を有するものを含む）、78.6%を占める結果となった。

一方、浮き上がりの有無に関係なく、孔内傾斜計不良データの形態を抽出したグラフを**図-3-1-1-4** に示す（都道府県アンケートおよび現場指導データより抽出）。ここでは、S 字状の形態を示す観測孔が 247 孔あり（複数の不良データの形態を有するものを含む）、全体の 58.4%となっている。

これらの結果より、浮き上がりが生じている観測孔において不良データが生じる場合には、グラフが S 字状を示す不良データの比率が高まっていることが伺える。

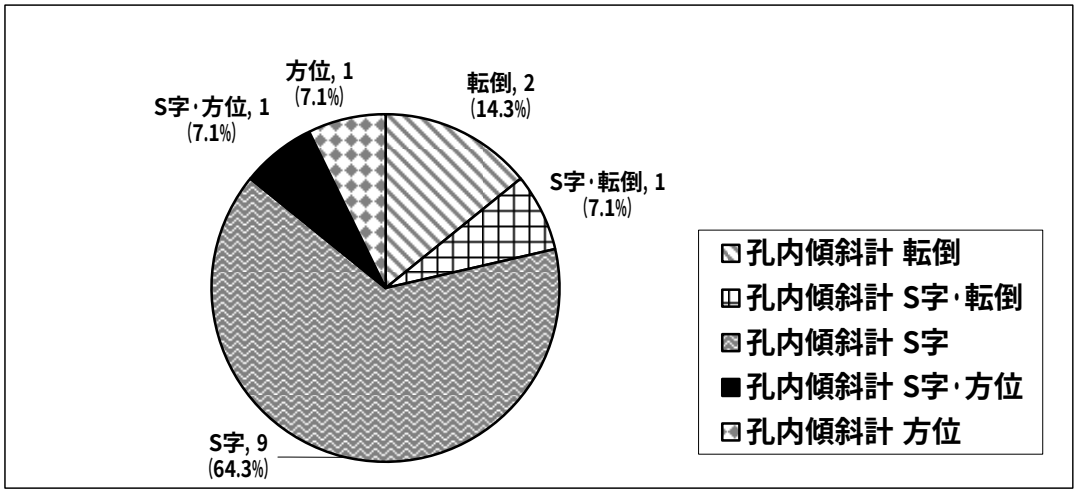


図-3-1-1-3　浮き上がり発生孔における、孔内傾斜計の不良データの形態

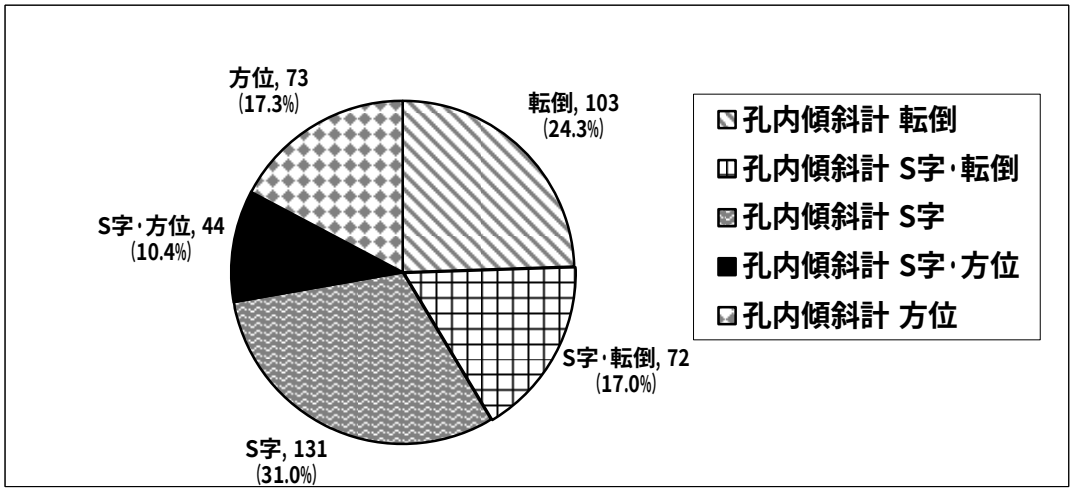


図-3-1-1-4　孔内傾斜計不良データの種類と割合（全体）

(3)　浮き上がりが発生している地域

都道府県アンケートにおいて、観測孔の浮き上がりについて回答が得られた県は 8 県であり、それぞれの該当観測孔数を**図-3-1-1-5** に整理した。

件数が少ないものの、関東、北陸、東海、四国の広い範囲において浮き上がり現象が発生しているといえる。

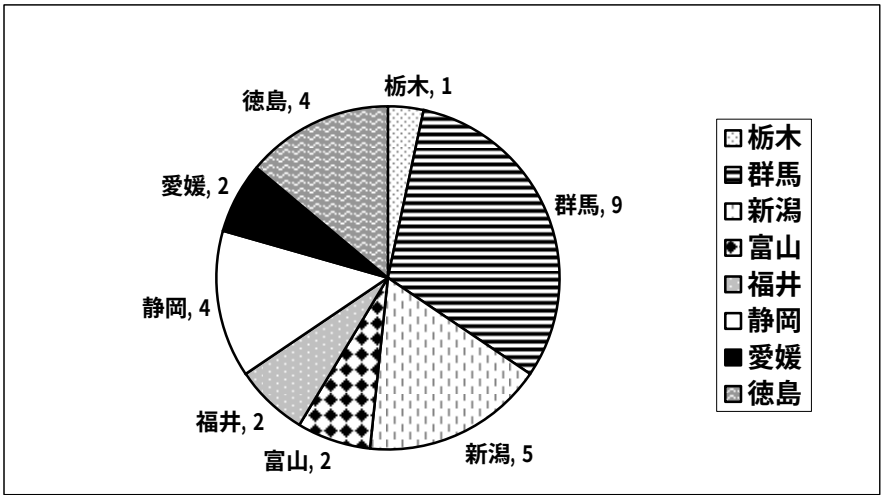


図-3-1-1-5　浮き上がりが発生した県および観測孔の数

3.1.2　孔内傾斜計の不良データと浮き上がり現象に関する検討

ガイドパイプが地表面より相対的に浮き上がるには、①地表面が沈下する。②パイプが上昇する。これらのいずれかの現象が生じていることになる。

地表面の沈下に関しては、地すべり頭部などの陥没帯や地すべり土塊の収縮による、観測地点での地すべり層厚の減少が考えられる。一方、ガイドパイプの上昇に関しては、地下水位の上昇に伴う浮力の発生が考えられるが、水位観測を併用するパイプ歪計ガイドパイプでも浮き上がりが発生している。これらのことから、浮き上がりの主たる要因は地表面の沈下であると考えられる。

図-3-1-2-1 に、ガイドパイプが浮き上がる過程を示した。陥没帯や地すべり土塊の圧縮など、地表面が沈下するケースでは、土塊の沈下に伴いガイドパイプに負の周面摩擦力が発生し、ガイドパイプを下方に引きずりこもうとする（**図-3-1-2-1（2)**）。しかしながら、通常、孔内傾斜計やパイプ歪計のガイドパイプは不動地盤に根入れされていることから、ガイドパイプ底部は沈下せず、その結果、ガイドパイプは軸方向（鉛直方向）に圧縮作用を受けることになる。

ここで、ガイドパイプ周面（またはグラウト周面）と地盤の接触部が破壊すると、ガイドパイプは**図-3-1-2-1（3）**に示すように、相対的に浮き上がることになる。

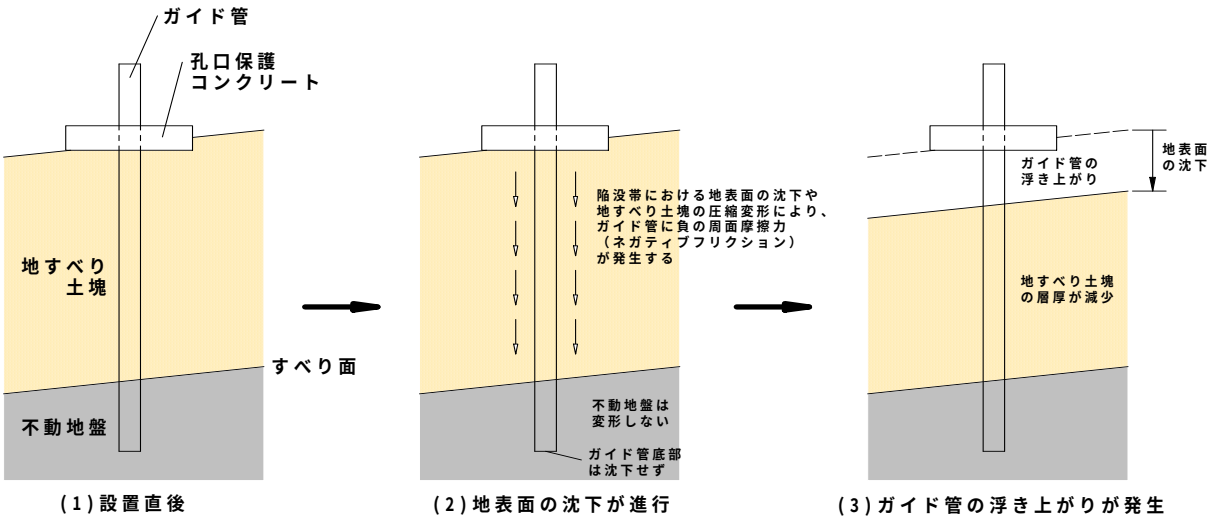


図-3-1-2-1　ガイドパイプの浮き上がり現象

一方で、ガイドパイプ周面（またはグラウト周面）と地盤の摩擦力が大きい場合には、ガイドパイプ周面と地盤の間に破壊が発生せず、ガイドパイプが地盤に追随することが予想される。

ガイドパイプ自体は軸方向に伸縮しない材質（アルミや樹脂性）であり、また不動地盤に根入れされた底部では沈下が発生せず反力が作用することから、ガイドパイプは上下に圧縮され、**図-3-1-2-2** に示されるように S 字状の変形が生じることが考えられる。

図-3-1-1-3 に示したように、浮き上がりが生じた観測孔においてデータ不良が生じる場合には、グラフが S 字状を示す不良データが多くなる傾向がある。このことから、地表面に沈下が生じているガイドパイプにおいては、ガイドパイプが軸方向（鉛直方向）に圧縮作用を受けることによって、S 字状の変形が発生するケースが多くなると考えられる。

但し、**図-3-1-1-2** に示したように、浮き上がりが生じている孔内傾斜計観測孔 24 孔のうち、不良データが発生していないものも 10 孔ある。これらの充填材は、グラウトが 6 孔、砂・砂利が 4 孔であり、充填材の種類による差はみられなかった。不良データが発生しなかったこれら 10 孔についても、浮き上がり発生時にガイドパイプには圧縮力が作用したものと考えられるが、周辺地盤との破壊が比較的簡単に生じるなど、ガイドパイプに S 字状の曲げを発生させるような大きな圧縮力が作用しなかった可能性がある。

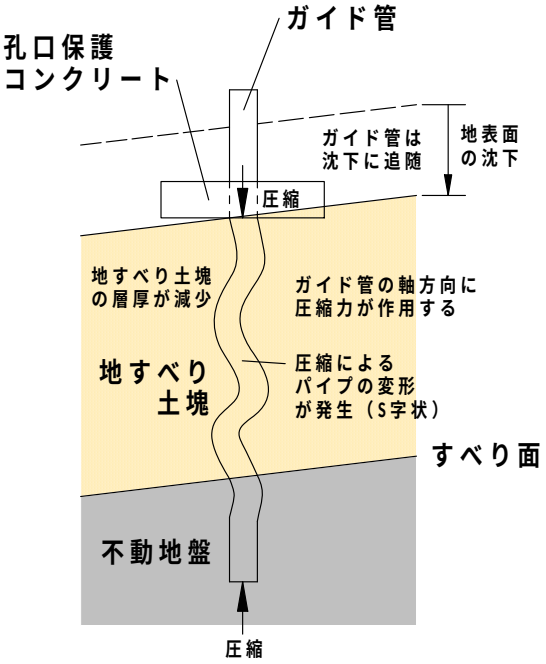


図-3-1-2-2　ガイドパイプの圧縮による S 字状変形

図-3-1-2-2 に示される変形は、ガイドパイプが水平方向へ押し曲げられることにより発生するものである。このため、S 字状の変形は、ガイドパイプ周面における充填材の充填状況にも影響されることになる。すなわち、**図-3-1-2-3** に示すように、充填が不十分で、ガイドパイプと孔壁の間に大きな空隙を有する区間では、ガイドパイプが水平方向に変形しやすく、圧縮に伴う S 字状の変形が発生しやすくなるものと考えられる。

ここで、2.2.項で述べたように、ジオテキスタイルを用いてグラウトを行った観測孔では、S 字状のデータ不良が発生する割合が低下している。ジオテキスタイルを用いてグラウト行った場合にはグラウトの流出を防ぐことができるため、密な充填が可能となる。このことにより、ガイドパイプの水平方向の変形が抑制され、結果として S 字状のデータ不良が少なくなっているものと考えられる。

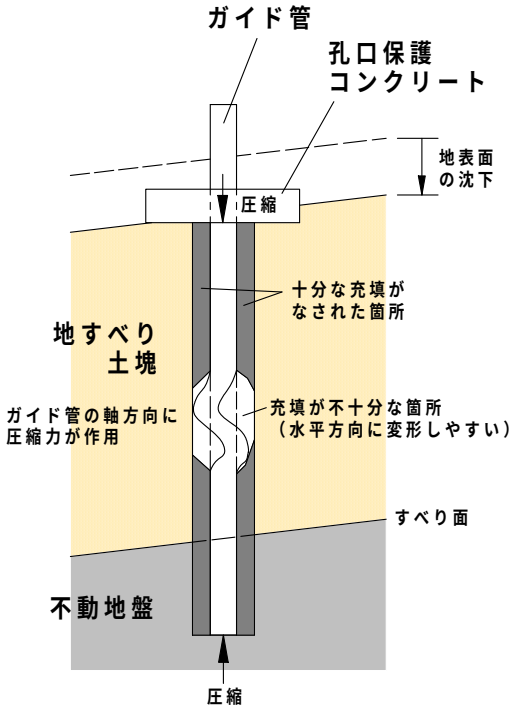


図-3-1-2-3　充填材の充填不足によるガイドパイプの S 字状変形

４．まとめ

本研究は、孔内傾斜計によるすべり面判定の信頼性を向上し、地すべり規模を精度よく把握することを目的に、地すべり地に設置されている孔内傾斜計の実態を調査したものである。

以下に、本研究で得られた成果をまとめる。

（１）孔内傾斜計の変遷

孔内傾斜計は欧米で開発され、データ不良を防止する方法やデータの補正方法については既往の研究でも提案されてきた。しかし、国内へ導入後、技術の向上と時代の要請からボーリング深度が深くなるなどの変化があったにも関わらず、これら変化に対する検討が十分に行われず現在に至っているようである。

（２）孔内傾斜計プローブおよびガイドパイプ

国内のプローブはサーボアクセロメータ式、ひずみゲージ式、差動トランス式が主流であるが、地すべりではサーボアクセロメータ方式のシェアが大きい。データ不良の中にはサーボアクセロメータ式だけに見られるものもあるが、これについては今後の調査結果が待たれる。

ガイドパイプには ABS や PVC などの樹脂製、アルミニウム合金製、ステンレス製のものがあるが、国内の特に地すべりではアルミニウム合金製のシェアが大きい。アルミニウム合金のガイドパイプは押出し圧延で製造されるため、製造過程で生じる管のねじれやそりがデータ不良の原因である可能性が考えられたが、工場での品質管理を見る限りでは問題となりそうなガイドパイプが現場へ出荷されている可能性は小さい。

（３）データ不良が生じる現場条件や設置方法

データ不良が生じる条件を検討するため、全国一斉調査を行った。この結果、地質の違い、地すべり地内での配置の違い、充填材料の違いなど、データ不良に与える要因の傾向は見られなかったものの、孔壁からのグラウト流出防止としてジオテキスタイルを使用したものについてはデータ不良が発生しにくいことがわかった。また、データ不良の生じた現場の生データを用いて固有誤差を調査した結果、設置直後の測定時点でガイドパイプの問題をある程度予見できることがわかった。

（４）ガイドパイプの浮上り現象とデータ不良

ガイドパイプの浮上り現象がデータ不良に影響を与える地すべり土塊の沈下によるものと仮定し、浮上り現象とデータ不良の関係を調べてみたが、浮上り現象があってもデータ不良の生じない現場もあった。また、地すべり土塊の沈下が生じているという事実を確認するため、層別沈下計による沈下計測を実施した。

以上のことから、本研究で行った調査により、データ不良を生じる要素として①ガイドパイプの接続部のギャップ、②プローブ内検出素子の特性、③ガイドパイプと孔壁の空隙充填の良否、④地すべり土塊の沈下があり、これらが組合わさってデータ不良となることがわかってきた。

今後は、これらの要素に着目した室内試験や現場試験により、データ不良の原因を特定すると同時に問題の解消方法を提案し、標準的な設置方法や計測方法を標準化していかなければならない。